

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Н. Курлаев

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГИДРОИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

*Рассмотрен вопрос создания модели загрязнения призабойной зоны пласта в условиях выноса мехпримесей, а также ее использования при формировании технологии очистки.*

**Моделирование, улучшение притока, гидроимпульсное воздействие, мехпримеси.**

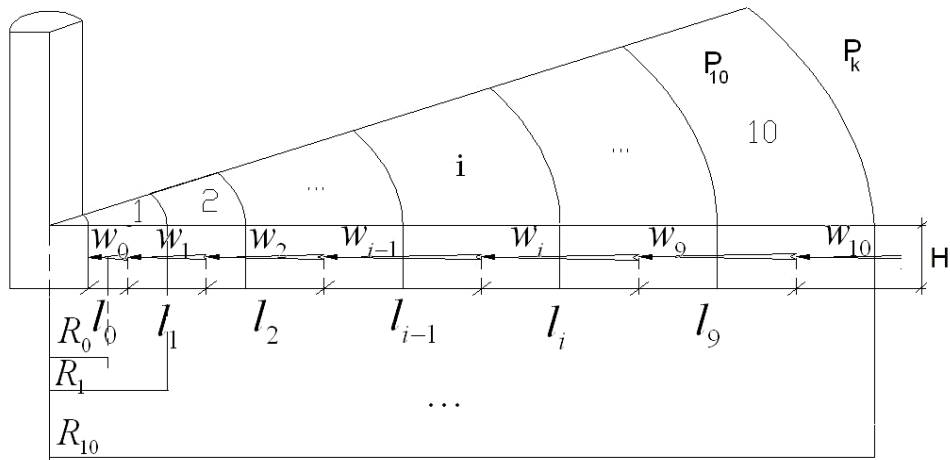
При разработке нефтегазовых месторождений наблюдается постоянное ухудшение нефте- и газопроницаемости призабойной зоны пласта (ПЗП). Понижение проницаемости призабойной зоны происходит из-за выпадения солей и отложений асфальтосмолистых и парафиновых фракций [3]. Одним из перспективных методов очистки ПЗП является гидроимпульсное воздействие, в отличие от гидроразрыва пласта не приводящее к образованию новых неоднородностей, которые могут ухудшить нефтеотдачу пласта [2].

Зачастую при очистке ПЗП и интенсификации притока руководствуются только количественной мерой продуктивности пласта, в то время как пространственное распределение частиц, загрязняющих ПЗП, может играть определяющую роль в формировании технологии очистки коллектора. Это особенно важно при использовании гидроимпульсного воздействия, так как приходится иметь дело с импульсами ограниченной мощности, а также учитывать энергозатраты на создание импульсов и эффективную глубину их проникновения [5]. Для анализа и прогнозирования процесса загрязнения была создана математическая модель с заданной геометрической схемой пространственного деления ПЗП (рис. 1).

Математическая модель предназначена для использования в имитаторах реального времени с обратной связью (т.е. с саморегулировкой параметров), поэтому учитывает физические факторы, влияющие на интенсивность отложения солей и парафиновых фракций (температура, свойства нефти, концентрация взвешенных частиц (КВЧ)) лишь косвенно, путем регулировки параметра  $C_2$  (см. далее) в режиме имитации. Основным принцип, заложенный в самой модели, гласит, что количество мехпримесей, осевших в единице объема порового пространства, пропорционально количеству жидкости, прошедшей через этот объем:

$$dV_{\text{пор}} = -dV_3 = -\frac{q \cdot dt}{C_1}, \quad (1)$$

где  $dV_3$  — объем загрязнителя, осевшего за время  $dt$ ;  $dV_{\text{пор}}$  — изменение объема пор;  $q$  — дебит (или расход);  $C_1$  — настраиваемый параметр.



**Рис. 1.** Схема деления ПЗ. Каждому сегменту соответствует осредненное значение давления в этом сегменте  $P_i$ . Давление контура питания  $P_k$  скважины остается

постоянным. Гидропроводность каждого сегмента  $w_i = \frac{k_i}{\mu} \cdot \frac{2\pi H R_i}{l_i}$ ,

где  $l_i$  — расстояние, преодолеваемое жидкостью при переходе из первой зоны в забой;

$R_i$  — средний радиус фронта, по которому идет это преодоление;

$k_i$  — коэффициент гидропроводности;  $\mu$  — вязкость жидкости;

$H$  — мощность пласта;  $i$  — номер сегмента,  $i = 0 \dots 10$

Пористость  $m_i$  — это отношение объема пор  $i$ -го сегмента ( $V_{\text{пор}i}$ ) (рис. 1) к объему самого сегмента ( $V_i$ ):

$$m_i = \frac{V_{\text{пор}i}}{V_i}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) получим

$$\frac{dm_i}{dt} = -\frac{q}{V_i \cdot C_1}. \quad (3)$$

Модель сама по себе достаточно груба, гидропроводность ( $w_i$ ) в ней принята пропорциональной пористости, т.е.

$$\frac{dw_i}{dt} = \frac{-q}{V_i \cdot C_2}, \quad (4)$$

где  $C_2$  — настраиваемый параметр. Дegradaция свойств призабойной зоны (ПЗ) и будет учитываться уравнением (4). Далее необходимо описать динамику перетоков в каждом сегменте. Для этого воспользуемся классическими уравнениями фильтрации [1, 4].

Расход  $q$  во всех зонах одинаков и равен

$$q = (p_{i+1} - p_i) \cdot w_i, \quad (5)$$

или для всех зон

$$q = (P_K - P_C) \cdot w, \quad (6)$$

где  $P_K$  — давление на контуре питания,  $P_C$  — давление в забое. ПЗ разделена на 10 сегментов, поэтому имеем 11 переходов, топологически соединенных последовательно (жидкость перетекает последовательно по всем зонам). Это значит (если помнить о том, что проводимость — обратная сопротивлению величина), что гидропроводности могут быть сложены следующим образом:

$$\frac{1}{w} = \sum_{i=0}^{10} \frac{1}{w_i}, \quad (7)$$

следовательно, получим

$$q = (P_K - P_C) / \sum_{i=0}^{10} \frac{1}{w_i}. \quad (8)$$

Уравнения (4, 5, 8) дают решаемую систему:

$$\dot{w}_i(t) = -\frac{q(t)}{V_i \cdot C_2},$$

$$q(t) = (P_K - P_C) / \sum_{i=0}^{10} \frac{1}{w_i(t)},$$

$$p_1(t) = P_C(t) + \frac{q(t)}{w_1(t)},$$

$$p_{i+1}(t) = p_i(t) - \frac{q(t)}{w_{i+1}(t)},$$

в которой  $i$  изменяется от 0 до 9,  $w_{10} = \text{const}$ .

Решая эту систему, можно получить картину радиального распределения загрязнителя и депрессии (рис 2, 3), что может быть полезно при выборе стратегии очистки. Кроме того, эта картина распределения будет закладываться в модель очистки гидроимпульсным воздействием.

Далее моделируем процесс очистки ПЗ с помощью виброволнового воздействия. Считаем, что во время замены скважинного оборудования на генератор упругих колебаний давление в ПЗП выравнивается с пластовым на одном уровне. Начальные условия определяет коэффициент гидропроводности (а также пористость, но поскольку мы считаем, что коэффициент гидропроводности прямо пропорционален пористости, то для нас они представляют один параметр). Картина распределения гидропроводных свойств пласта была получена при моделировании динамики загрязнения.

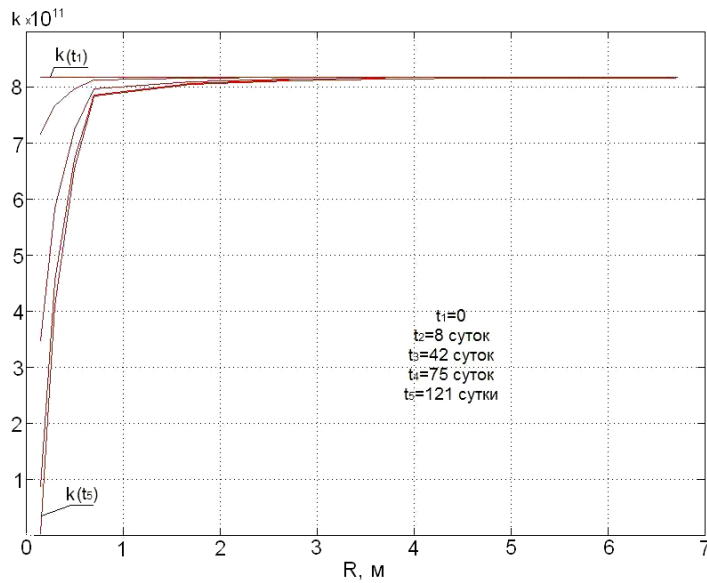


Рис. 2. Эволюция коэффициента гидропроводности  $k_i$

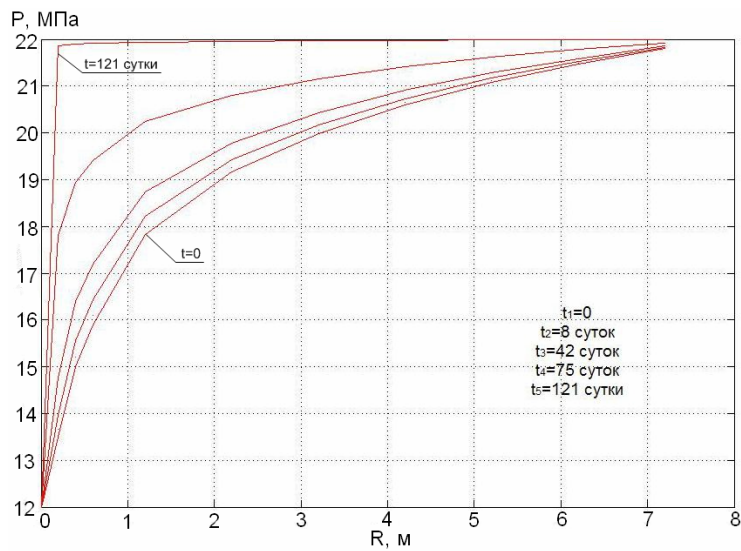


Рис. 3. Эволюция депрессии

Колебания давления, создаваемые виброволновым генератором, описываются уравнением

$$p = P_C + P_A \cdot \sin(at), \quad (9)$$

где  $P_A$  — амплитуда колебаний. Очевидно, в пласте возникают волны притока и оттока жидкости.

Модель объема жидкости задается (без учета сжимаемости жидкости) [1] уравнением

$$\Delta V_{\text{жи}} = m\beta_c V_i \cdot \Delta P_i, \quad (10)$$

где  $\Delta V_{\text{жи}}$  — изменение объема жидкости (за счет уплотнения или разрежения скелета пласта) в сегменте объемом  $V_i$ , приходящееся на изменение давления  $\Delta P_i$ ;  $\beta_c$  — коэффициент упругости пласта. Продифференцировав (10), получим

$$m\beta_c V_i \dot{p}_i = q_i - q_{i-1}, \quad (11)$$

где  $q_i$  и  $q_{i-1}$  — межзонные перетоки. С учетом (5)

$$m\beta_c V_i \dot{p}_i = w_i(p_{i+1} - p_i) - w_{i-1}(p_i - p_{i-1}). \quad (12)$$

Таким образом, компрессионное поведение пласта опишется системой уравнений

$$\begin{cases} p_0 = P_C + P_A \cdot \sin(at), \\ m\beta_c V_i \dot{p}_i = w_i(p_{i+1} - p_i) - w_{i-1}(p_i - p_{i-1}). \end{cases} \quad (13)$$

Чтобы описать, как при этом чистится коллектор, необходимо поставить какие-то условия очистки. Исходим из предположения, что частицы отрываются с оккупированного места при определенном градиенте давления. Порог, при котором происходит отрыв частиц, зависит от направления градиента (рассматриваем только два направления: от скважины и к скважине. Если скважина добывающая, то в направлении от скважины порог меньше). Кроме того, удельное количество оторванного загрязнителя пропорционально этому градиенту (масса оторванного загрязнителя всегда составляет какую-то часть того, что уже налипло). То есть, имеем условия:

$$\begin{aligned} \dot{k}_i &= K_+ \cdot (p_i(t) - p_{i+1}(t)) \cdot (k(0) - k_i(t)), \\ &\text{если } \frac{p_{i+1}(t) - p_i(t)}{l_i} < -G_{\text{кр.}+} \\ \dot{k}_i &= K_- \cdot (p_{i+1}(t) - p_i(t)) \cdot (k(0) - k_i(t)), \\ &\text{если } \frac{p_{i+1}(t) - p_i(t)}{l_i} > G_{\text{кр.}-}, \\ \dot{k}_i &= 0, \\ &\text{если } G_{\text{кр.}-} > \frac{p_{i+1}(t) - p_i(t)}{l_i} > -G_{\text{кр.}+} \end{aligned} \quad (14)$$

где  $K_-, K_+$  — параметры, характеризующие способность частиц к отрыву (у нас скважина добывающая,  $K_- < K_+$ );  $G_{\text{кр.}+}$  — градиент давления, при котором происходит отрыв частиц в сторону добычи ( $G_{\text{кр.}-}$  — в сторону нагне-

тания). Модель очистки состоит из уравнений (13, 14), описывающих быструю динамику колебаний давления и медленную динамику очистки ПЗП.

При заданных начальных условиях и данных значениях параметров очистки осуществлялась в первых трех сегментах (рис. 4).

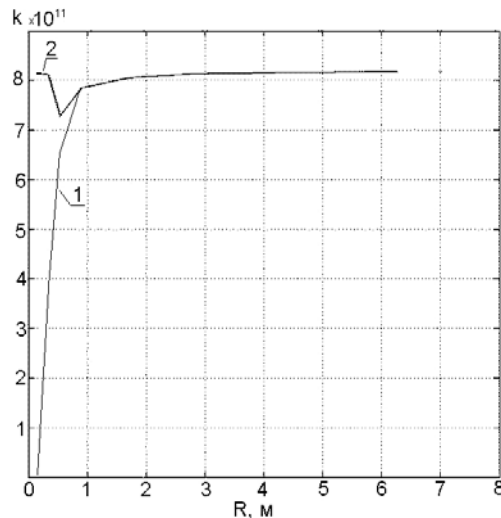


Рис. 4. Коэффициент гидропроводности: 1 — до очистки, 2 — после очистки

Модель позволяет оценить радиальное распределение мехпримесей в ПЗП и эффективность очистки гидроимпульсным воздействием, а также выбрать масштаб для создания грубых моделей загрязнения и чистки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исследований, 2005. 496 с.
2. Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шариффулин Р.Я., Туфанов И.А. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. 381 с.
3. Камалетдинов Р.С. Обзор существующих методов борьбы с мехпримесями // Инженер. практика. 2010. № 2. С. 13–16.
4. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исследований, 2002. 140 с.
5. Li J., Walker S. Sensitivity Analysis of Hole Cleaning Parameters in Directional Wells // SPE 74710-PA. 2001. С. 356–363.

G.N. Kurlayev

### MODELING OF CLEANING PROCESS USING HYDROIMPULSIVE EFFECT

The article considers a question of creating model of bed's wellbottom zone pollution under lifting of mechanical impurities, as well as using it in cleaning technology development.

**Modeling, stimulation of inflow, hydroimpulsive effect, mechanical impurities.**